

해저 연약지반 주행성능 실험기법 연구 (II) : 직진주행성능시험

최중수* · 홍섭* · 김형우* · 이태희**

*한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

**한양대학교 기계공학부

Experimental Technique for Trafficability on Soft Benthic Terrain (II) : Straight-line Motion Test of Tracked Vehicle

JONGSU CHOI*, SUP HONG*, HYUNG-WOO KIM*, Tae Hee Lee**

*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, KORDI
Daejeon, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University
Seoul, Korea

KEY WORDS: Benthic Terrain 해저지반, Cohesive Soil 점착성 토양, Tracked vehicle 무한궤도차량, Grouser 그라우저, Drawbar pull force 견인력, slip 슬립, sinkage 침하

ABSTRACT:

To study the trafficability on soft and cohesive benthic terrain, a tracked vehicle model(670mm(L)×750mm(B_w)) is designed and tested. The pitch and chevron angle of grouser, weight and center of gravity of vehicle, and drawbar pull force are chosen as experimental variables. Slip, sinkage and inclined angle of vehicle are picked as performance values. Strength of soil is considered as noise factor. A preliminary straight-line motion test is performed. Then, DOE(Design of Experiment) is discussed for further research.

1. 서론

해저 주행은 파이프라인 또는 케이블의 해저 설치 및 보수 유지, 해저 자원의 개발, 해양 방위, 과학탐사 연구 등 다양한 임무 수행을 위하여 그 필요성이 제기되었으며, 그에 따른 주행 장치(vehicle)의 형태 또한 다양하게 고안되어 왔다.

해저 지반의 토양은 구성 성분에 따라 사토(sand), 사질토(sandy loam), 사질이토(sandy mud), 니질사토(muddy sand), 점토(clay) 등으로 세분화되나, 전반적으로 사질토양은 육상에 인접한 해역에 국한되고 그 외에는 점토의 성분이 높은 점착성(cohesive) 토양이 대부분이라 볼 수 있다.

해저의 점착성 토양은 점착성과 부착성(adhesive)이 강하며 전단강도가 극히 낮은 연약지반이므로, 이러한 해저 점착성 연약지반(이하, 해저지반)상을 주행하는 시스템은 접지면적을 가급적 최대로 하여 주행시 침하를 최대한 줄이고, 외란의 영향하에서도 주행할 수 있는 충분한 견인력을 받을 수 있도록 설계되어야 한다.

육상 야지(off-road)에 사용되는 건설장비, 농업장비, 군사장비에서 그 예를 찾아볼 수 있는 무한궤도형 차량이 해저지반용 주행장치로 가장 적합한 형태로 알려져 있다(홍섭, 2001). 본 연구는 해저지반용 무한궤도 차량에 대한 실험기법연구에 대한 것이다.

해저지반의 경우 외력에 대해서 변형이 크며, 그 특성이 비선형, 비탄성적이므로 지반과 주행장치 전체를 동시에 해석대상에 포함하기는 어려움이 많다. 따라서 주행성(Trafficability)의 관점에서 지반과 무한궤도간의 특성을 실험적으로 규명하여 그 결과를 주행장치 수치해석모델에 적용하여 해석하는 것이 효과적이다(홍섭, 2001, 2002). 본 연구에서 수행된 실험기법연구의 경우 이러한 수치해석모델의 유효성을 검증하는데 이용될 계획이다.

최근에 해저 지반에 대한 직진주행실험은 Dörfler(1992)에 의해 수행되었다. 전단강도 3.5kPa의 6m(폭)× 63m(길이)× 3.5m(깊이) 토양수조에서 트랙의 크기와 형상, 무게중심과 그 위치 등의 주행장치 실험변수가 성능에 미치는 영향을 파악하였다.

본 연구에서는 트랙폭 200mm, 트랙사이간격 550mm, 접촉 길이 670mm의 주행장치를 설계·제작하여 해저 연약지반을 모사한 토조(최중수, 2002)와 함께 해저 주행성능실험을 기본 체계를 구축하였다. 관심있는 실험변수를 선정하고 시스템의 성능을 예측할 수 있는 토대를 마련하였다.

해저차량의 경우 직진과 선회의 주로 2차원적 운동을 수행한다. 본 연구에서는 개발된 주행장치모델의 직진 주행성능실험을 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 연약지반의 주행성능연구의 기반이 마련된 것으로 사료된다.

2. 실험 장치

2.1 주행 성능시험 실험시설

Fig. 1과 같이 해저지반을 모사하기 위한 기본시설인 토조 (3.7m × 6.0m × 0.7m)와 기타 부속장치를 자체 설계를 통해 제작하였다. (최종수, 2002)

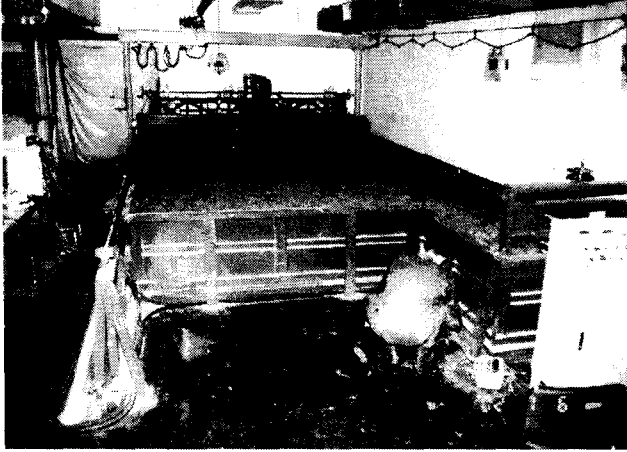


Fig. 1 Soil bin in KRISO

2.2 주행차량 모델

Fig. 2와 같은 해저지반용 무한궤도 주행장치의 1/5 모델 (0.75m(폭)×0.9m(길이)×0.4m(높이))을 설계·제작하여 본 실험에 사용하였으며 자세한 제원은 Table 1과 Fig.3에 나타나 있다.

본 장치의 구동은 좌우측에 각각의 1마력의 AC 서보 모터로 이루어졌으며 서보모터용 전용 드라이브를 탑재하고 있다. 또한 PC에 설치된 드라이브 전용 보드가 본 차량모델의 위치와 속도를 제어한다.

트랙의 경우 지반과의 접착성(adhesion)을 줄이기 위해 테프론으로 코팅(50 μ m)하였다.

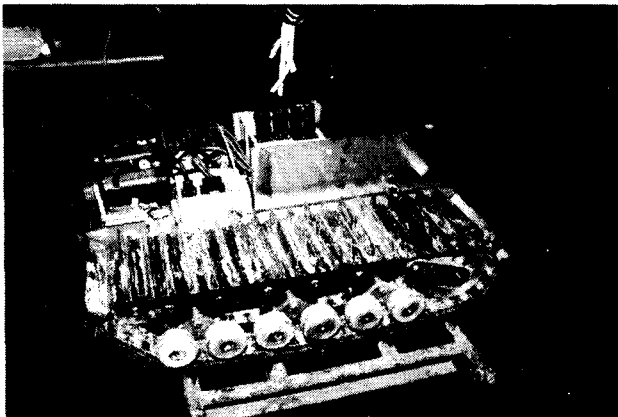


Fig. 2 Tracked vehicle model : before teflon coating

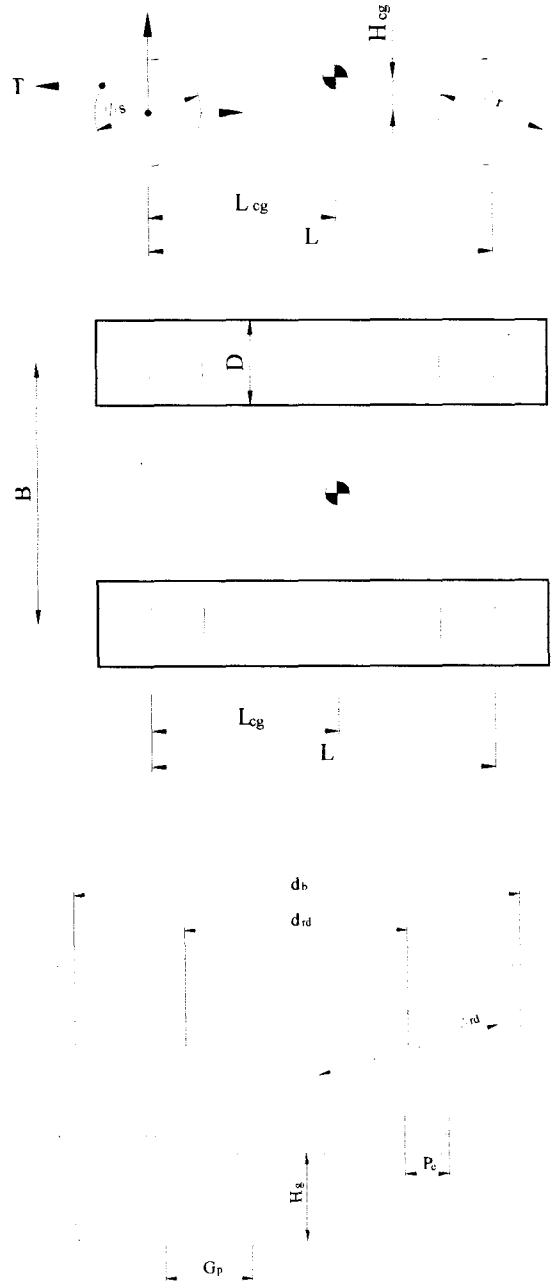


Fig. 3 Principle dimensions of vehicle model

2.3 직진주행 성능시험

Fig. 4는 직진 주행성능 시험의 대략적인 수행도를 나타낸다. 좌측의 2중 도르래를 사용하여 직진거리 약 4.0m까지 견인주행이 가능하게 제작하였다.

Table 1 Specification of vehicle model

	기호	값	단위	비고
차량 기본 무게	W	144	kg	실험변수
트랙폭	D	200	mm	
정적접촉길이	L	670	mm	실험변수
정적평균접지압	P	5.27	kPa	실험변수
좌우 트랙간격	B	550	mm	
길이방향 무게중심	L_{cg}	330	mm	실험변수
높이방향 무게중심	H_{cg}	-22.3	mm	
전방 Roller 직경	ϕ_r	147	mm	
후방 스프라켓 직경	ϕ_s	100	mm	
로드휠 직경	ϕ_{rd}	80	mm	
로드휠 간격	d_{rd}	97	mm	
로드휠 개수	N_{rd}	24	EA	
보기 간격	d_b	194	mm	
그라우저 높이	H_g	38.1	mm	
그라우저 피치	G_p	38.1	mm	실험변수
그라우저 꺾임각	θ_G	$\pm 15.4, 0$	Deg	실험변수
체인 피치	P_c	19.1	mm	
견인작용점 거리	L_d	-121	mm	
견인작용점 높이	H_d	47.5	mm	
트랙 속도	V_t	0~0.5	m/s	실험변수
트랙당 정격구동동력	P_w	1	hp	
스프라켓 정격토크	T	48	Nm	

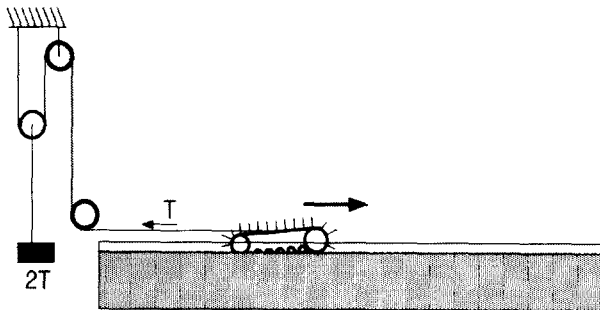


Fig. 4 Straight-line motion test of tracked vehicle model

3. 실험 계획

3.1 실험변수

그라우저의 꺾임각(θ_G), 피치(G_p), 차량의 무게(W), 길이방향 무게중심(L_{cg}) 등의 차량설계변수와 차량 속도(V_t), 견인력 등의 운용변수를 실험변수로서 두어 성능에 미치는 영향을 파악하도록 한다.

그라우저의 꺾임각(θ_G), 피치(G_p)와 길이방향 무게중심(L_{cg})은 각각 Fig. 5와 Fig. 3에 설명되어 있다. 차량의 무게는 차량에 직접 웨이트를 올려놓아 설정되며, 차량 속도는 서보 드라이브의 통해 제어된다. 한편 견인력은 Fig. 4의 견인하중으로 일정한 힘으로 대체되었다.

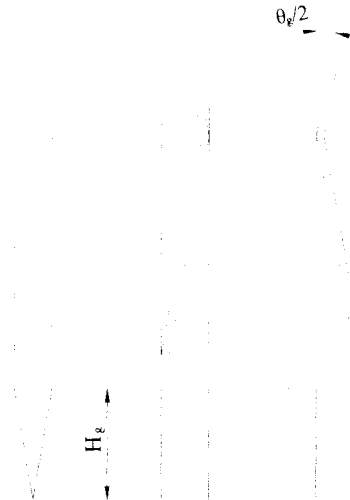


Fig. 5 Chevron angle of grouser

3.2 성능치

차량 직진주행성능을 대표하는 성능치는 주행 슬립, 침하량, 진행방향 기울기, 구동토크이며, 각각이 최소화 되도록 설계변수와 운용변수의 값이 결정되어야 한다.

주행 슬립은 다음과 같이 정의된다.

$$i = \frac{V_t - V_g}{V_t} \quad (1)$$

여기서, V_t 는 트랙의 구동속도이며, V_g 는 차량이 지면에 상대적으로 구동되는 주행속도이다. 본 연구에서 V_t 와 V_g 는 각각 구동모터축과 견인케이블 롤러의 회전축에 직결한 엔코더의 신호를 이용하여 계측한다.

주행장치가 최종위치에 정지되어 있을 때 Fig. 6과 같은 광학적 계측장비를 이용하여 지반에 대한 차량의 대표 침하량과 진행방향 기울기를 계측한다.

구동토크의 경우 서보모터 전용 드라이브의 제작사에서 제공하는 토크 값으로 측정한다.

3.3 잡음인자

해저 지반의 경우 위치에 따라 전단강도 특성이 많이 변한다. 따라서, 전단강도특성의 변화라는 외란에 강건한(Robust) 성능을 나타내도록 설계하기 위해 지반 강도를 잡음인자로 보고 해석하기로 한다.

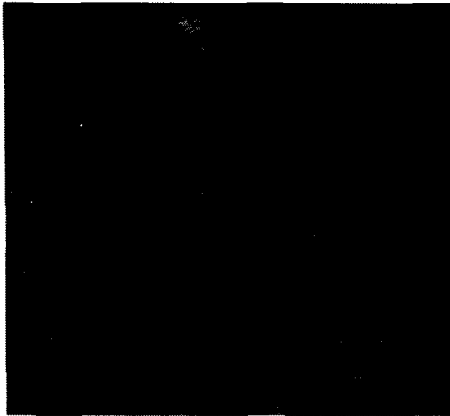


Fig. 6. Optical level measuring system (AZ-2S, Nikon)

4. 실험 수행

다음과 같은 실험조건에서 실험을 수행하였다.

- 그라우저 간격 : 38.1 mm
- 그라우저 꺾임각 : -15 °
- 이동속도 : 0.5 m/s
- 견인력 : 10 kg
- 무게중심 : 330 mm
- 접지압 : 6.5 kPa
- 지반 전단강도 : 2.94 kPa(최대), 2.09 kPa(잔류)

이때 성능치는 다음과 같다.

- 슬립 : 0.72 %
- 침하량 : 17.1 mm
- 진행방향 기울기 : 2.3 °
- 평균 토오크 : 10.73 Nm

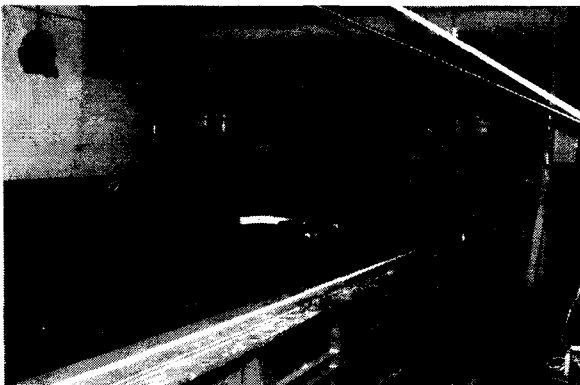


Fig. 7 Straight-line motion test of tracked vehicle model

5. 결론

접착성 해저 연약지반용 주행차량연구를 위한 주행성능실험 체계를 다음과 같이 구축하였다.

- 접지길이 670mm, 트랙폭 200mm, 트랙사이간격 550mm 인 무한궤도형 주행장치모델을 개발하였다.
- 개발된 주행장치모델의 직진주행성능실험을 통해 주행성능 실험에 대한 적용성을 검증하였다.

6. 추후 연구

지반 모사에 사용된 벤토나이트와 물의 혼합물의 경우 교반 후 경과한 시간에 따라 변화하므로 교반후 일정시간내에 실험을 수행하여야 한다.

따라서, 실험의 준비하고 정리하는데 투입되는 시간과 비용이 엄청나기 때문에 본 실험계획과 같이 많은 실험변수를 전조합실험 시법(Full factorial experiment)에 의해 실험을 수행한다는 것은 비효율적이므로 최소의 실험횟수로 최대의 효과를 얻을 수 있는 실험법의 도입이 요구된다(염봉진, 2000).

다꾸치방법은 각 실험변수들에 대한 시스템 성능과 잡음요소에 의한 분산을 동시에 고려한 방법으로, 직교행렬을 도입하여 최소의 실험으로 신뢰성 높은 실험변수의 조합을 찾는 실험계획법이다(이종원, 1989). 따라서 추후 직교행렬을 이용한 다꾸치 방법을 적용하여 실험을 수행하기로 한다.

Table 2 L₈ orthogonal array of straight-line motion test of vehicle model

	실험변수						성능치
	1	2	3	4	5	6	잡음인자
Test No.	그라우저간격	그라우저 꺾임각	이동 속도	견인력	무게중심	접지압	잔류전단강도(2.0kPa)
단위	pitch	°	m/s	kg	mm	kPa	
1	1	15	0.1	10	330	5.5	
2	1	15	0.1	30	430	6.5	
3	1	-15	0.5	10	330	6.5	
4	1	-15	0.5	30	430	5.5	
5	3	15	0.5	10	430	5.5	
6	3	15	0.5	30	330	6.5	
7	3	-15	0.1	10	430	6.5	
8	3	-15	0.1	30	330	5.5	
수준	2	2	2	2	2	2	전수 64회

또한, 순차적으로 실험을 수행하기 위해 1차적으로 2수준의 실험을 수행하여 전체적인 경향을 파악한 후 좀더 신뢰성 높은 실험변수의 조합쪽으로 실험 변수의 수준과 변수값을 변경하여 재 실험을 수행하기로 한다. Table 2는 $L8(2^7)$ 직교행렬을 이용하여 본 연구의 설계변수를 조합한 것이다. 만약 이것을 전조합 실시법으로 하였을 경우 잠음인자 1수준에 대해 모두 64회의 실험을 수행하여야 하나, 본 직교행렬을 이용하면 모두 8회의 실험으로 64회의 실험에 준하는 결과를 얻을 것을 기대한다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 국가연구개발사업 “심해저 광물자원 집광 및 채광운용기술 실용화 연구”의 일환으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Dörfler, G. (1992): Drawbar Pull of a Tracked Vehicle on Deep Sea Soil, ISTVS, Proceedings 4th Regional North American Meeting, Sacramento, CA, March 25-27, pp.102-110.
- Sup Hong, Jongsu Choi (2001): Experimental Study on Grouser Shape Effects on Trafficability of Extremely Soft Seabed, ISOPE, OMS-2001, Szczecin, Poland, September 23-27, pp.115~121.
- Sup Hong, Hyong Woo Kim, Jongsu Choi (2002): Transient Dynamic Analysis of Tracked Vehicles on Extremely Soft Cohesive Soil, ISOPE, PACOMS-2002, Deajon, Korea, November 17-20, pp.100~107.
- 염봉진의 3인 (2000): 실험계획 및 분석 : 다구치 방법과 직교표의 활용, 한국과학기술원 산학협동 공개강좌.
- 이종원 (1989): Taguchi방법에 의한 실험 계획, 자동차공학회지, Vol.11, No.6, pp.3~16.
- 최종수, 홍섭, 김형우(2002): 해저 연약지반 주행성능 실험기법 연구(I) : 주행실험토조, 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp.224~228.
- 홍섭, 김형우, 최종수(2002): 해저 연약 지반 주행차량의 3차원 동력학 해석 기법, 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp.149~154.